



SÄHKÖASEMAN HÄIRIÖTALLENTTEIDEN ANALYSOINTIJÄRJESTELMÄN TESTAUS JA TODENTAMINEN

Jussi Pesonen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2015
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikka
Älykkäät koneet

PESONEN, JUSSI:

Sähköaseman häiriötallenteiden analysointijärjestelmän testaus ja todentaminen

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 4 sivua

Huhtikuu 2015

Tämän opinnäytetyön aiheena on sähköaseman häiriötallenteiden analysointijärjestelmän testaaminen ja todentaminen. Työ tehtiin ABB:lle, ja työn tarkoituksena oli testiympäristön suunnittelu, toteuttaminen, verifiointi, dokumentointi ja laitteiston toimivuuden testaus. Tavoitteena oli toteuttaa testausjärjestelmä, jolla voidaan laskea sähköverkossa havaittavien vikojen etäisyyksiä, tarkkailla katkaisijan kuntoa ja varmistaa testien toistettavuus. Työn etenemisestä alusta loppuun, käytetyistä testiarvoista ja saaduista tuloksista haluttiin myös englanninkielinen seikkaperäinen dokumentaatio. Tämä dokumentti jäi kuitenkin ABB:n sisäiseksi dokumentiksi.

Testausjärjestelmässä oli saatava laitteiden välinen kommunikaatio toimimaan, jotta asematietokone kykenisi hakemaan häiriötallenteen ja tarvittavien datapisteiden tiedot suojareleelta vikaetäisyyden laskemiseksi. Laitteet kiinnitettiin räkkiin ja johdotettiin toisiinsa, jolloin laitteiston toimivuutta voitiin testata syöttämällä suojareleelle erilaisia staattisia virtoja ja jännitteitä koestuslaitteelta. Näitä testejä käytettiin virheellisten johdotusten ja asetusten löytämiseen ja korjaamiseen, jotta seuraavat testit voitaisiin suorittaa oikein. Seuraavissa testeissä käytettiin seuraavia kahta signaalia järjestelmän testaamiseen. Ensimmäinen testisignaali oli oikeasta maasulkuviasta saatu häiriötallenne, jota simuloitiin koestuslaitteella. Toinen testisignaali oli tämän saman häiriötallenteen pohjalta rakennettu vaihtelevista staattisista virran ja jännitteen tiloista muodostuva sekvenssi.

Näillä testisignaaleilla saadaan hyvät tulokset riittävällä tarkkuudella, ja testit ovat myös toistettavissa useita kertoja ongelmitta. Koska työn tarkoituksena oli verifioida testausympäristö, jolla voidaan tehdä lisää testejä, tämän opinnäytetyön kannalta ei ollut tarpeellista suorittaa enempää testejä erilaisilla testiarvoilla.

Opinnäytetyö oli aikaa vievä ja vaati ohjelmiin ja laitteisiin tutustumista. Opinnäytetyön ja siihen liittyvän testaamisen tekeminen oli myös mielenkiintoista ja niiden avulla sai lisätietoa ja ymmärrystä sähköasemien automaation toiminnasta. Järjestelmän toimintaan saattaminen on työlästä, koska asematietokoneen tämänhetkinen versio on kehitysversio. Asetuksissa on asiakasversiota enemmän tehtävää, ennen kuin järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla.

Asiasanat: testausjärjestelmä, suojarele, asematietokone, koestuslaite, testisignaali.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical Engineering
Option of Intelligent Machines

PESONEN, JUSSI:

Testing and Verification of a Substation Offline Analyzer -System

Bachelor's thesis 37 pages, appendices 4 pages

April 2015

The subject of this thesis is testing and verification of a substation offline analyzer – system. This thesis was made for ABB, and the purpose of the thesis was to build, verify, document, finish and test a testing environment. The objective of the thesis was to complete the testing system that can be used to calculate fault distances detected in the grid, follow condition of a circuit breaker and to make sure that tests are repeatable. A detailed documentation about steps of configuring devices, used test values and results in English were also required for this. This document was left as an internal document for ABB so it will not be presented in this thesis.

In order to make testing environment work, communication between devices had to be made functional so that a station computer could fetch disturbance records and information of data points from a protection relay in order to calculate fault distance. Devices were attached to rack and wired to each other so that functionality of the system could be tested by feeding different kinds of static currents and voltages to the protection relay from an instrumentation device. These tests were used to locate and fix faults in wirings and settings so that next tests could be done right. In next tests two signals were used to test the system. The first test signal was a real disturbance record from earth fault that was simulated with the instrumentation device. The second test signal was sequence made from varying current and voltage levels based on this same disturbance record.

These test signals provide good results with sufficient accuracy and tests are repeatable for several times without problems. Because the purpose of the thesis was the verification of testing environment that can be used to do more tests, there is no need to do more tests with different test values for this thesis.

Key words: test system, station computer, protection relay, instrumentation device, test signal.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	SÄHKÖVERKKO JA VERKON HÄIRIÖT	8
2.1	Sähköverkko	8
2.2	Sähköverkon häiriöt	9
3	JÄRJESTELMÄN TESTAUS	11
3.1	Yleiskuvaus.....	11
3.1.1	Kojeistuslaitteen toiminta.....	11
3.1.2	Suojareleen toiminta vikatilanteessa	12
3.2	Asematietokoneen toiminta	13
3.3	Käytetyt ohjelmat.....	14
3.3.1	PCM600	14
3.3.2	SAB600.....	14
3.3.3	Test Universe	15
3.4	Käytetyt laitteet.....	15
3.4.1	REF615 -suojarele.....	15
3.4.2	COM600 -asetatietokone	16
3.4.3	Omicron CMC 356 -kojeistuslaite	16
4	TOTEUTUS	17
4.1	Valmistelut.....	17
4.2	Kalibrointi ja konfigurointi	17
4.2.1	Aloitutus	17
4.2.2	Laitteiden välinen kommunikointi	18
4.2.3	Datapisteet.....	19
4.2.4	Ylivirtasuojaja ja jälleenkytkentä suojareleessä	19
4.2.5	Häiriötallennin.....	20
4.2.6	Häiriötallenteiden lataus.....	21
4.2.7	Vikaetäisyyden laskeminen.....	22
4.2.8	Katkaisijan kunnonvalvonta asematietokoneessa	22
4.3	Kytkenät.....	22
4.4	Testisignaali	24
4.4.1	Ensimmäiset testisignaalit.....	24
4.4.2	Jälleenkytkentäsekvenssi.....	25
4.4.3	Häiriötallenteen simulointi.....	25
4.4.4	Häiriötallenteeseen perustuva sekvenssi	26
5	TESTAUS	28
5.1	Häiriötallenteen simulointi	29

5.2 Häiriötallenteeseen perustuva sekvenssi.....	29
6 POHDINTA JA TULOKSET	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	34
Liite 1. REF615 -suojareleen tilauskoodi	34
Liite 2. COM600 -asematietokoneen tilauskoodi.....	35
Liite 3. Häiriötallenteen ja sekvenssi signaalin tilojen virrat ja jännitteet	36

LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Asea Brown Boveri sähkövoima- ja automaatioteknologia yhtymä
AJK	Aikajälleenkytkentä
AROn	Automatic Reclosing On. Automaattinen jälleenkytkentä käytössä
AutoRecSt	Automatic Reclosing Start. Automaattinen jälleenkytkentä sekvenssin aloitus
CMC 356	Työssä käytetty kojeistuslaite
COM600	Työssä käytetty asematietokone
COMTRADE	Häiriötallenteissa käytettävä standardi tiedostomuoto
IEC 61850	Kansainvälinen standardi sähköasemien kommunikaatioille
I_{L1} , I_{L2} ja I_{L3}	Vaihevirrat
IP -osoite	Internet protokollaosoite. Käytetään erottamaan verkkosovittimet toisistaan IP –verkoissa.
MMS	Manufacturing Message Specification. Protokolla, jolla suoja- ojareleet raportoivat dataa.
Omicron	Testilaittevalmistaja
PCM600	Laitteiden parametrien ja toimintojen säätö ohjelma
PJK	Pikajälleenkytkentä
REF615	Työssä käytetty suoja- ojarele
SAB600	Laitteiden kommunikaation konfigurointi ohjelma
Test Universe	Kojeistuslaitteen hallintaohjelma
U_{L1} , U_{L2} ja U_{L3}	Vaihejännitteet
U_0 ja I_0	Nollavaiheenjännite ja -virta

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on ABB:n tarjoama ”Sähköaseman häiriötallenteiden analysointijärjestelmän testaus ja todentaminen” nimellä olevan työ. Työn tarkoituksena on suunnitella, toteuttaa ja testata sähköaseman analysointijärjestelmänä toimivan asematietokone ABB:n laboratoriotiloissa dokumentoiden työvaiheet. Tavoitteena on toteuttaa testausjärjestelmä, jolla voidaan tarkkailla katkaisijan kuntoa, laskea verkossa havaittujen vikojen etäisyydet riittävällä tarkkuudella ja testien on oltava toistettavissa. Tämän lisäksi on myös tehtävä järjestelmän asetuksista, kokoonpanosta, testimittauksessa käytetyistä arvoista ja saaduista tuloksista seikkaperäinen raportti englanniksi. Tämä raportti jää kuitenkin ABB:n sisäiseksi dokumentiksi.

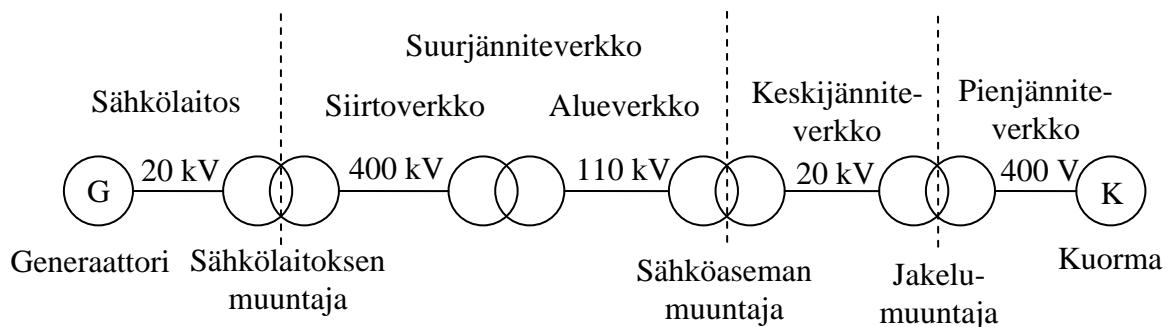
Työssä on konfiguroitava suojarele perustoiminnoille ylivirtasuojaksi, jälleenkytkennöille ja häiriötallentimeksi. Asematietokone on konfiguroitava hakemaan suojareleen häiriötallenteet ja datapisteiden tiedot, joiden avulla se laskee häiriöiden vikaetäisyydet ja valvoo katkaisijan kuntoa.

Laitteiston toimivuuden testaamiseksi, sähköverkon simuloimiseksi ja häiriötallenteiden luomiseksi suojareleelle syötetään erilaisia testisignaaleja koestuslaitteella. Suojareleen häiriötallenteista ja asematietokoneen raporteista on tarkoituksena tarkastaa tulosten oikeellisuus.

2 SÄHKÖVERKKO JA VERKON HÄIRIÖT

2.1 Sähköverkko

Suomen sähköverkko yleensä jaetaan kolmeen verkkoon: suur-, keski- ja pienjänniteverkoihin ja tätä on kuvattu kuviossa 1. Tässä kuviossa sähkölaitoksen generaattorilta tuotetaan 20 kV jännitettä, joka muutetaan sähkölaitoksen muuntajalla 400 kV suurjänniteverkolle, mutta generaattorista riippuen tuotetun jännitteen suuruus voi olla erisuuruisen. Suurjänniteverkko muodostuu 400 kV siirtoverkosta ja 110 kV alueverkosta, laajuudeltaan suurimmassa keskijänniteverkossa jännite on yleensä 6–20 kV tasolla ja pienjänniteverkossa Suomessa käytetään pääjännitteenä 400 V, joka on vaihejännitteenä noin 230 V. (Valtari 2013, 9)

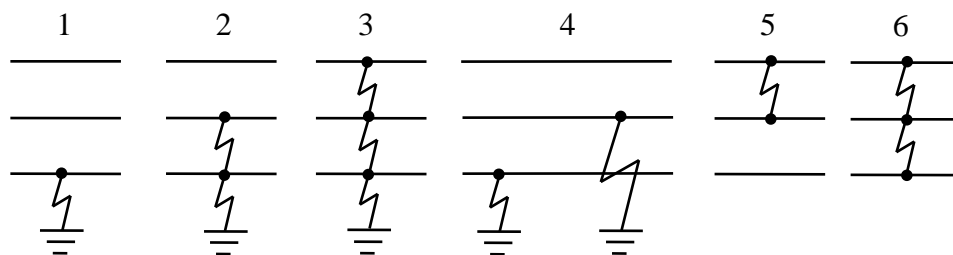


KUVIO 1. Suomensähköverkon rakenne. (Valtari 2013, 9, muokattu)

Suurjänniteverkkoa käytetään suurien tehojen siirtämiseen pitkillä matkoilla. Suurjänniteverkko haarautuu keskijänniteverkoiksi sähköasemilta jakaen siirretyn tehon useammalle verkolle. Keskijänniteverkolla siirretään pienempiä tehoja lyhyempiä matkoja, tyypillisesti enintään noin 20–30 km. Keskijänniteverkot haarautuvat pienjänniteverkoiksi jakelumuuntajien kautta. Pienjänniteverkoilla pieniä sähkötehoa voidaan siirtää lyhyitä matkoja kuluttajille joitain satoja metrejä. Koska monet tehtaat tarvitsevat paljon suurempia tehoja kuin mitä pienjänniteverkolla voidaan siirtää, ne ovat usein kytkettyinä suoraan keskijänniteverkkoon omilla muuntajillaan. (Lakervi 2009, 11–12, 17)

2.2 Sähköverkon häiriöt

Suurin osa vioista tapahtuu kooltaan suurimmassa keskijänniteverkossa (n. 90 %). Sähkölajjestelmien viat ovat yleensä oikosulku kahden tai kolmen vaiheen välillä tai maasulku yhdestä tai useammasta kuten on nähtävissä kuviosta 2 (Harrison 1996, 69–70). Molemmat näistä vioista voivat aiheuttaa huomattavia muutoksia sähköjärjestelmän virroissa ja jännitteissä, mikä saattaa johtaa suurempiin vahinkoihin, jos vikaa ei eristetä nopeasti. (Lakervi & Partanen 2009, 176, 182–183)

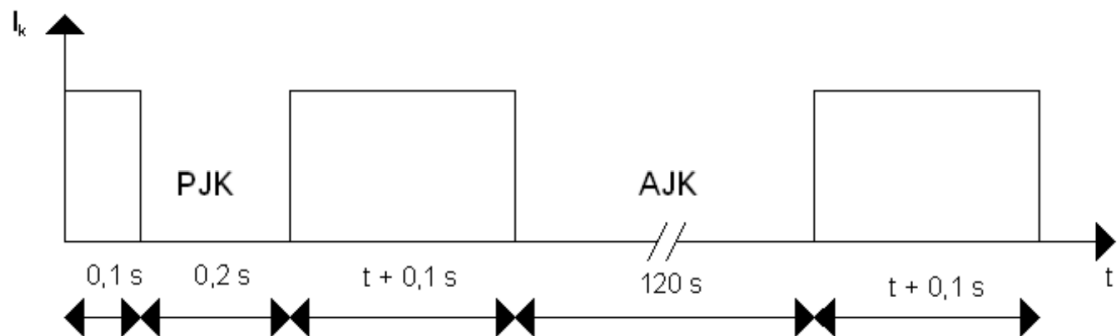


KUVIO 2. Harrisonin kirjasta löytyvään kuvaan perustuva kolmivaiheisessa järjestelmässä esiintyvät vikatyypit. (Harrison 1996, 70, muokattu).

Kuvion 2 tapauksessa yksi on maasulku, tapauksessa kaksi on kaksivaiheinen maasulku ja kolmannessa tapauksessa kolmivaiheinen maasulku. Neljännessä tapauksessa on kyseessä kaksoismaasulku, jolloin kaksi eri vaihetta on maahan yhteydessä olematta samalla oikosulussa. Suomessa maasulut johtuvat yleensä linjojen päälle kaatuneista puista varsinkin kovien myrskyjen aikaan. Tapauksessa viisi on kahden vaiheen välinen oikosulku ja kuudennessa tapauksessa on kyseessä kolmivaiheinen oikosulku. (Harrison 1996, 69–70).

Näiden mahdollisten vikatapausten takia sähköasemilla käytetään suojareleitä suojaamaan verkkoa. Nämä suojareleet erottavat verkossa ilmenneen vian vahinkojen välttämiseksi ja ne voidaan ohjelmoida suorittamaan automaattisen jälleenkytkennän, siltä varalta, että vika on vain ohimenevä. Suomessa jälleenkytkentää käytetään avojohtoverkoissa kahdella jälleenkytkentäyrityksellä. Kuviosta 3 on nähtävissä esimerkki siitä miten pikajälleenkytkentä (PJK) ja aikajälleenkytkentä (AJK) toimivat suojauksessa. Ensimmäinen jälleenkytkentä yritys suoritetaan PJK:lla 0,2 sekunnissa katkaisijan avaamisesta ja epäonnistuneen PJK yrityksen jälkeen suoritetaan AJK 120 sekunnin kuluttua katkaisijan avauduttua toisen kerran. Nämä ovat mitoitettu toimimaan niin, ettei asiak-

kaille tule standardien ylittäviä ylivirtakuormia. (Lakervi & Partanen 2009, 176-193, muokattu)



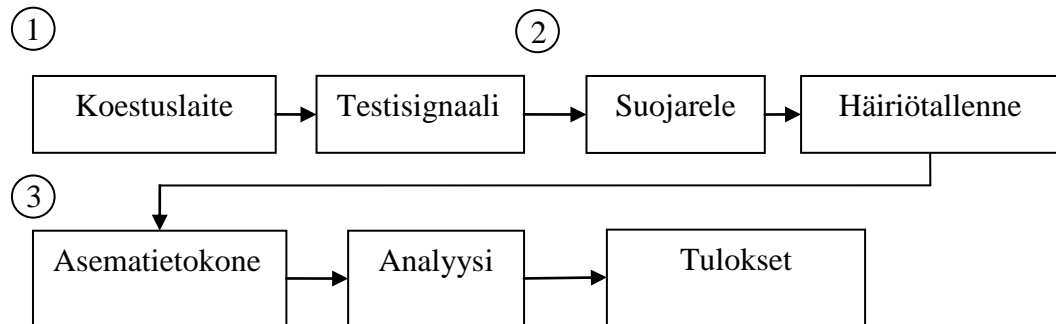
KUVIO 3. Vikavirta ajan funktiona PJK ja AJK suojauksella. (Lakervi & Partanen 2009, 178, muokattu)

Kolmivaiheisessa järjestelmässä vikatapauksissa nollajohtimeen syntyvät nollajohtimenjännite U_0 ja nollajohtimenvirta I_0 , jos vaiheiden jännitteet ja virrat ovat epätasapainossa. Nollajohtimen virran suuruus on laskettavissa summaamalla vaiheiden virtojen osoittimet yhteen, jolloin tulokseksi jää nollajännite. (Lakervi & Partanen 2009, 186–187, 191–194)

3 JÄRJESTELMÄN TESTAUS

3.1 Yleiskuvaus

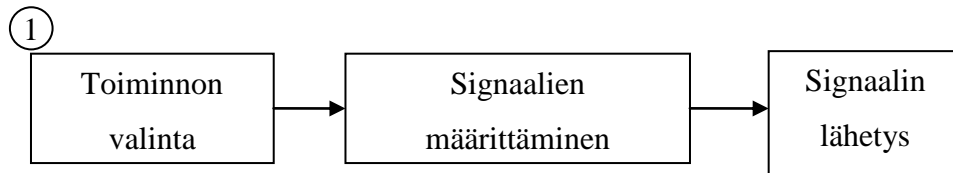
Järjestelmän testaus on jaettavissa kolmeen osaan ja tämä on nähtävissä kuviosta 4. Ensimmäisessä prosessin vaiheessa koestuslaite lähettää määritetyt virta- ja jännitesignaaleja. Toisessa vaiheessa suojarele mittaa sille syötetyt virrat ja jännitteet ja häiriötilanteessa se aloittaa häiriötallenteen ja jälleenkytkentä toimenpiteen. Kolmannessa vaiheessa asematietokone hakee ja analysoi suojareleelta häiriötallenteen ja datapisteiden tiedot ja työstää niistä tulokseksi raportin. Seuraavissa kohdissa käsitellään nämä kolme vaihetta erikseen tarkemmin.



KUVIO 4. Yksinkertaistettu kuva prosessin etenemisestä.

3.1.1 Koestuslaitteen toiminta

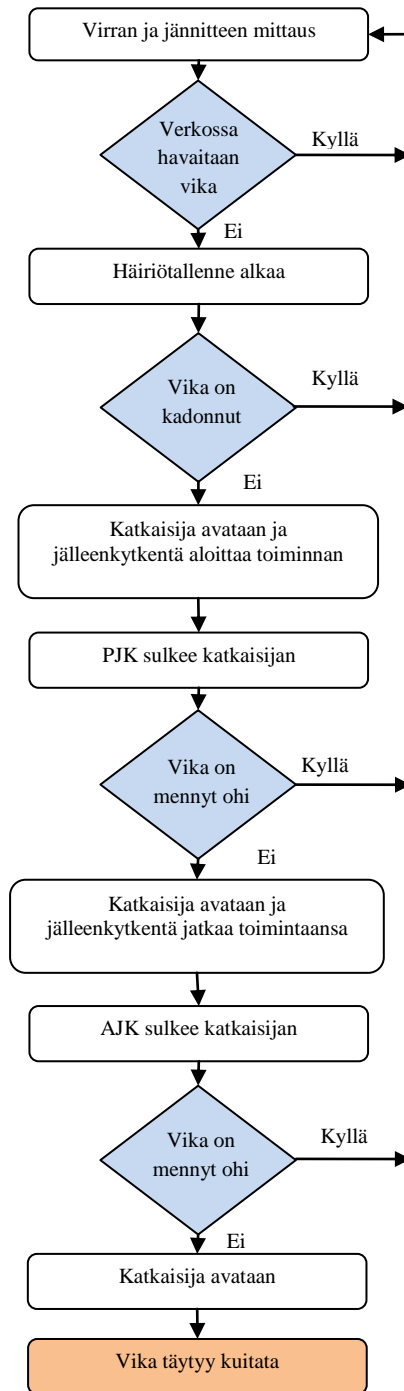
Koestuslaitteen vaihe on yksinkertaisin näistä vaiheista ja kuviosta 5 nähdään tämän vaiheen eteneminen. Ensimmäiseksi käytetään tietokoneeseen asennettua ohjelmaa, jolla voidaan valita haluttu toiminto koestuslaitteen ohjaamiseksi. Seuraavaksi määritellään virrat, jännitteet ja binäärisignaalit ja lopuksi virrat ja jännitteet syötetään suojareleelle mitattavaksi.



KUVIO 5. Ensimmäisen vaiheen eteneminen koestuslaitteella.

3.1.2 Suojareleen toiminta vikatilanteessa

Suojarele mittaa jatkuvasti koestuslaitteen syöttämiä virtoja ja jännitteitä vastaan ottaen myös siltä tulevia binäärisignaaleja. Kuviossa 6 on nähtävissä suojareleen toiminta. Suojareleen havaitessa mittaamissaan virroissa ja jännitteissä merkin viasta se aloittaa häiriötallenteen ja tallenteen alettua se antaa katkaisijalle käskyn avautua ja aloittaa suojareleessä jälleenkytkentäsekvenssin. Jälleenkytkentäsekvenssissä PJK sulkee katkaisijan lyhyen ajan päästä tämän avautumisesta. Jos vika on jo mennyt ohi, suojarele palaa normaalitilaan. Jos katkaisijan sulkeutumisen jälkeen suojarele edelleen havaitsee vian, katkaisija avataan uudelleen. Tämän jälkeen aikajälleenkytkentä AJK sulkee katkaisijan lyhyen ajan kuluttua. Jos vika ei ole enää havaittavissa, järjestelmä palaa normaali tilaan. Jos vika on edelleen havaittavissa, katkaisija avautuu jälleen ja järjestelmä jää odottamaan viankuittaamista, ennen kuin katkaisija voidaan sulkea seuraavan kerran. PJK:n ja AJK:n toiminnasta tässä testausjärjestelmässä kerrotaan tarkemmin luvussa 4.2.4 ja niiden käyttämisestä Suomen sähköverkossa luvussa 2.2.

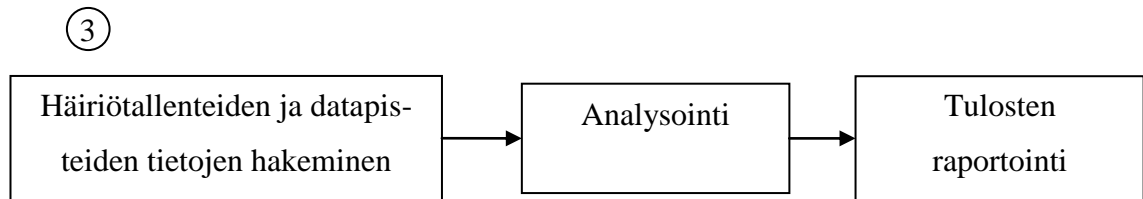


KUVIO 6. Suojareleen toiminta vikatilanteessa.

3.2 Asematietokoneen toiminta

Kuviossa 7 esitetään asematietokoneen toiminta. Asematietokone hakee suojareleeltä häiriötallenteet ja datapisteiden tiedot. Asematietokone analysoi hakemansa tiedot ja laskee näiden perusteella katkaisijan kunnon, vikaetäisyyden, vikaresistanssin ja vikare-

aktanssin päätellen samalla vikatyypin. Asematietokone laatii tuloksista raportin, jossa se kertoo laskemansa tulokset ja tiedot viasta.



KUVIO 7. Asematietokoneen toiminta.

3.3 Käytetyt ohjelmat

Työssä käytettiin useampaa eri ohjelmaa, joiden avulla muutettiin suojareleen ja asematietokoneen toimintoja ja asetuksia ja joilla pystyi tarkastelemaan mittaustulosten tietoja. Seuraavissa kohdissa on käsitelty työn kannalta oleelliset kolme ohjelmaa.

3.3.1 PCM600

Tätä ohjelmaa käytettiin suojareleen ja asematietokoneen konfigurointiin ja asetusten säätämiseen. Suojareleen tyypin ja osien määrittämisen jälkeen sen toimintoja voidaan muuttaa graafisella sovellusten muokkaus työkalulla, jossa laitteen toiminta on kuvattu toimilohkokaavioiden avulla. Parametrien asettelutyökalulla on mahdollista muuttaa suojareleen toimilohkojen asetuksia ja toimintoja. Toimituksessa asematietokoneen asetukset on säädetty tapauskohtaisesti valmiiksi parhaalla mahdollisella tavalla, jotta asiakkaan ei tarvitsisi tehdä suuria muutoksia laitteen asetuksiin.

3.3.2 SAB600

Tällä ohjelmalla säädettiin ja aseteltiin asematietokoneen ja suojareleen välistä kommunikaatiota, jotta ne voisivat kommunikoida keskenään. Ohjelmalla oli tärkeä rooli laitteiden kommunikaatio ongelmien korjaamisessa ja sillä konfiguroidaan IEC 61850 -protokollaan liittyvät asiat laitteille.

3.3.3 Test Universe

Tämä on Omicronin valmistama ohjelma, jolla ohjataan Omicron koestuslaitteiden toimintaa, minkälaista jännitettä, virtaa ja binäärisignaaleja se lähettää ja miten laite reagoi vastaanottamiinsa signaaleihin. Ohjelman eri sovelluksilla oli mahdollista muuttaa laitteen virtalähteen syöttämää jännitettä ja syöttää staattisia virtoja ja jännitteitä. Laitteella oli myös mahdollista luoda sekvenssejä, joissa virran ja jännitteen tilat voitiin asettaa vaihtumaan tilamuutosehtoihin perustuen. Ohjelmalla oli myös mahdollista simuloida aiemmin tapahtuneita vikoja näiden vikojen häiriötallenteiden avulla, jolloin tallennetta ajettaessa koestuslaite toistaa nämä viat mahdollisimman tarkasti. Tämä toiminto kuitenkin tukee enintään kolmen virta- ja jännitekanavan yhtäaikaista käyttöä, jolloin ei ole mahdollista lähettää vaihevirtojen ja -jännitteiden lisäksi nollavirtaa ja -jännitettä.

3.4 Käytetyt laitteet

Työn päälaitteina toimivat ABB:n COM600 -asematietokone ja REF615 -suojarele, mutta näiden lisäksi oli käytettävä Omicron CMC 356 -koestuslaitetta. Koestuslaitteen avulla on mahdollista syöttää erilaisia staattisia ja vaihtelevia virta- ja jännitesignaaleja suojareleiden ja muiden mittalaitteiden toimivuuden testaamiseksi.

3.4.1 REF615 -suojarele

Tämä on ABB:n valmistama älykäs elektroninen laite, joka on suunniteltu sähköasemien ja teollisten sähköjärjestelmien suojaamiseen, ohjaamiseen, mittaamiseen ja valvontaan. Laitteen ominaisuuksiin on tilattaessa mahdollista vaikuttaa, jolloin laitteen sisäisiä mittauskortteja ja ohjelmistopaketteja voidaan vaihtaa tarpeeseen sopivaksi. Laitteella on 12 erilaista standardi konfiguraatiota. (ABB Oy 2009, 15, 18, 35)

Työssä suojarelettä käytettiin vikojen havaitsemiseen, katkaisijan ohjaamiseen ja häiriötallenteiden ottamiseen. Työssä suojareleellä mitattiin koestuslaitteen syöttämiä jännitteitä ja virtoja. Laitetta käytettiin myös nollavirran ja -jännitteen mittaamiseen, mutta tässä työssä nämä arvot laskettiin vaihevirroista ja -jännitteistä. Laitetta käytettiin sekä

laitteen etupaneelin käyttöliittymällä, että etäyhteydellä verkkoselaimen ja laitteen IP -osoitteen avulla.

3.4.2 COM600 -asematietokone

Tämä on ABB:n valmistama sähköasemilla käytettävä analysointilaitteena toimiva asematietokone. Asematietokoneella voidaan hakea tietoja useilta eri sähköaseman suojaus-, hallinta- ja prosessilaitteilta eri kommunikaatio protokollia käyttäen. (ABB Oy 2012, 13)

Asematietokone on varustettu Windows 7-käyttöjärjestelmällä ja siitä voidaan käyttää etäyhteydellä, jolloin on mahdollista avata laitteen Windows 7 työpöytä näkymä. Etäyhteydellä on myös mahdollista tarkastella asematietokoneen tietoja ja raportteja ottamalla siihen yhteyttä verkkoselaimella laitteen IP -osoitteen avulla. Työssä laitetta käytettiin vikaetäisyyksien laskemiseen ja katkaisijan kunnon valvontaan laitteen hakemien tietojen perusteella. Näistä kahdesta ominaisuudesta kerrotaan tarkemmin luvuissa 4.2.7 ja 4.2.8.

3.4.3 Omicron CMC 356 -koestuslaite

Omicron koestuslaite, joka voi toimia jännitelähteenä ja kykenee syöttämään staattisia ja vaihtelevia virta- ja jännitesignaaleja mittauslaitteistolle (Omicron 2015). Tietokoneeseen kytkettynä tätä laitetta ohjattiin aiemmin mainitulla Omicron Test Universe -ohjelmalla. Tässä työssä tätä laitetta käytettiin suojareleen virtalähteenä ja syöttämään sille erilaisia testisignaaleja.

4 TOTEUTUS

4.1 Valmistelut

Työ aloitettiin tutustumalla tiloihin, jossa työ tehtäisiin. Tämän jälkeen työssä käytettävälle kannettavalle tietokoneelle asennettiin työssä tarvittavat ohjelmat. Seuraavaksi tutustuttiin suojarieleeseen ja sen asetusten ja toimintojen muokkaamiseen käytettävään ohjelmaan.

Ensimmäisenä työnä oli selvitettävä, mitä työssä käytettyjen laitteiden tilauskoodit tarkoittavat laitteiden toimivuuden kannalta. REF615 -suojarieleen tilauskoodi on HBFNAEAGNGA1BMC1XG ja COM600 -asematietokoneen tilauskoodina on AH-RE11TPANNF. Tilauuskoodit kertovat minkälaisia ominaisuuksia laitteella on ja minkälaisia toimintoja laitteella on mahdollista toteuttaa. Tieto suojarieleen tilauskoodin merkityksestä on nähtävissä liitteen 1 taulukosta 1 ja asematietokoneen tilauskoodin merkitys on löydettävissä liitteen 2 taulukosta 1. Tieto laittein toiminnasta erilaisilla tilauskoodeilla on löydettävissä ABB:n Offline Order Number Tool -tiedostosta (ABB Oy, 2015).

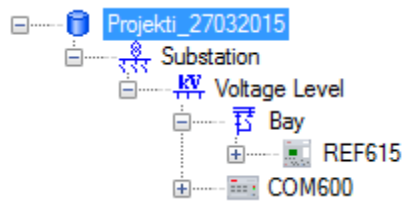
4.2 Laitteiden kommunikaatio ja konfigurointi

Laitteiden asetukset oli konfiguroitava toimimaan halutulla tavalla. Laitteiden oli kyettävä kommunikoimaan keskenään, jolloin asematietokeen oli kyettävä hakea halutut tiedot suojarieleeltä, tarkkailemaan katkaisijan kuntoa ja laskemaan vikaetäisyyden ha-
kemiensa häiriön aikaisten tietojen perusteella. Suojarieleen on kyettävä avaamaan katkaisija häiriöiden ilmetessä ja sulkemaan se jälleenkytkentäsekvenssillä.

4.2.1 Aloitus

Työ aloitetaan käynnistämällä laitteiden asetuksien muokkaamiseen käytettävä ohjelma, jossa oli luotava uusi projekti, jonka alle luodaan kuvion 8 mukainen rakenne, jotta saataisiin määriteltyä asetukset asematietokoneelle ja suojarieleelle. Kuviossa 8 nähdään

kuinka projektille on luotava sähköasema (Substation), johon sijoitetaan jännitetaso (Voltage Level). Sähköasemalla voi olla useita jännitetasoja ja jännitetasoilla voi olla useampi lähtö (Bay) ja jokaiselle jännitetasolle on oma asematietokoneensa, joka on tässä tapauksessa COM600 -asematietokone. Samaan tapaan ja jokaiselle lähdölle on oma suojarелеnsä ja tässä tapauksena se on REF615 -suojarеле. Tällä tavalla projektilla kuvataan sähköasemaan sijoitettavia laitteita ja niiden sijoituksia asemanhahmottamiseksi, sillä sähköasemilla voi olla useampia jännitetasoja ja lähtöjä, joihin liittyy muita vastaavia laitteita.



KUVIO 8. Projektin rakenne.

Kun projektiin lisätään suojarеле ja asematietokone, on niille määritettävä niiden tilauskoodit. Tämä voidaan hoitaa automaattisesti hakemalla tilaus koodi laitteilta, jos laitteet ovat tietokoneeseen yhteydessä tai tilauskoodi voidaan määrittää itse valinnasta riippuen.

Suojarелеelle suurin osa tarvittavista asetuksista oli jo määritelty valmiiksi, joten sen asetukset olivat helposti ladattavista suoraan kyseistä laitteesta. Suojarелеelle oli kuitenkin vielä lisättävä toimintoja ja asetuksia, jotta ylivirtasuoja ja automaattinen jälleenkytkennän saatiin toimimaan. Asematietokoneen asetuksiin ei ollut tarve tehdä muutoksia, sillä se toimi hyvin tehdasasetuksilla.

4.2.2 Laitteiden välinen kommunikointi

SAB600 -ohjelmalla oli konfiguroitava suojarелеen ja asematietokoneen välinen kommunikointi toimivaksi, jotta asematietokone kykenisi vastaanottamaan suojarелеen lähettämät tiedot. Aluksi oli luotava uusi projekti johon lisätään asematietokone. Asematietokoneeseen asetusten määrittämiseksi sille on ladattava aiemmin tehdystä PCM600 -projektista saatavat asetukset. Kun tämä oli tehty, oli mahdollista muokata viestintä asetuksia suojarелеen ja asematietokoneen välillä. Jotta kaikki asetukset saataisiin näkyvil-

le, oli muistettava vaihtaa käyttäjä SuperUser valintaan. Tämän jälkeen oli mahdollista muokata suojareleelle häiriötallenteen hakuasetukset kuntoon. Asetuksissa oli määriteltävä häiriötallenne toimimaan, tapahtuman laukaisu, laukaisun tietokannapisteen lähde ja sijainti asematietokoneen kovalevyllä, johon häiriötallenne tallennetaan.

4.2.3 Datapisteet

Työssä asematietokoneelle oli määriteltävä datapisteet, joiden tiedot se hakee vikaetäisyyden ja katkaisijan kunnon valvonnan suorittamiseksi. Taulukossa 1 on nähtävissä viisi tarvittua datapistettä, joita tarvittiin tulosten ja raporttien muiden tietojen saamiseksi.

TAULUKKO 1. Tietokannan datapisteet.

Datapiste	Merkitys
CTRL.CBCSWI1.Pos.stVal	Katkaisijan tilatieto
LD0.DARREC1.AROn.stVal	Jälleenkytkennän tilatieto
LD0.DARREC1.AutoRecSt.stVal	Automaattisen jälleenkytkennän aloitus tilatieto
LD0.TRPPTRC1.Tr.general	Laukaisijan tilatieto
DR.RDRE1.RcdStr.stVal	Tallenteen aloituksen tilatieto

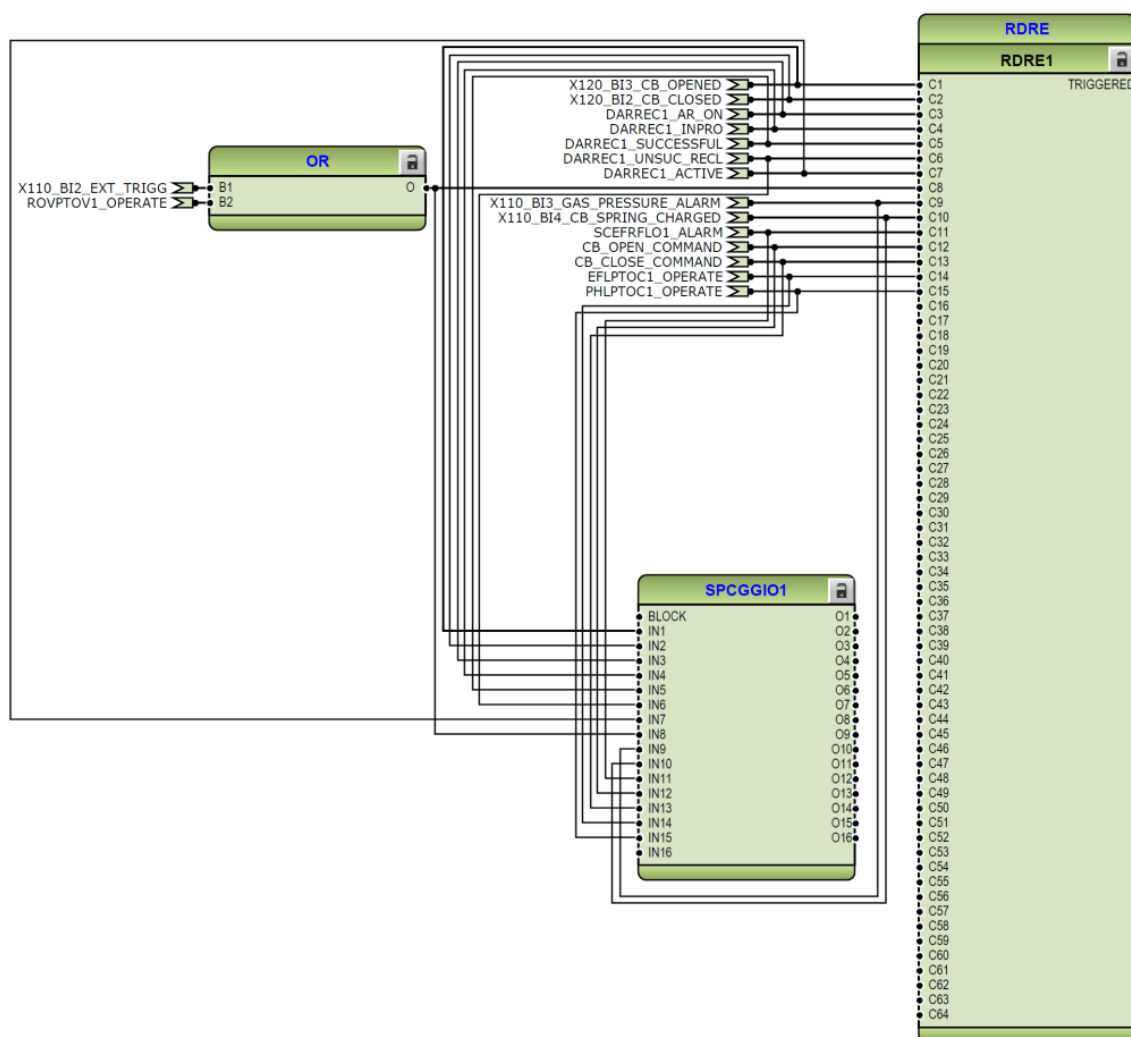
4.2.4 Ylivirtasuoja ja jälleenkytkentä suojareleessä

Ylivirtasuoja ohjaa katkaisijan avautumaan laitteen havaitessa riittävän suuren muutoksen jännitteessä tai virrassa ja sen toimintaherkkyys on säädettävissä muuttamalla sen asetuksia. Jälleenkytkennän ollessa käytössä, laite pyrkii ohjaamaan katkaisijan takaisin kiinni säädetyn ajan kuluttua. Jos vika ei ole kadonnut jälleenkytkennän toimittua, katkaisija kytketään uudelleen auki. Tämä toistuu kunnes vika on kadonnut tai jälleenkytkentä on toistettu niin monesti kuin se on asetettu toimimaan, mutta enintään viisi kertaa.

4.2.5 Häiriötallennin

Häiriötallennin on tässä tapauksessa asetettu toimimaan, kun suojat havaitsevat vian mitatuissa arvoissa, mutta nämä ehdot ovat muutettavissa tapauskohtaisesti. Tallenteen alkukohta on määriteltävä asetuksista, ettei se alkaisi ennen vikaa, muttei ennen virran ja jännitteen syötön aloittamista, jotta asematietokone kykenisi laskemaan vikaetäisyyden oikein. Tämä ei kuitenkaan ole ongelma todellisessa ympäristössä virran ja jännitteen ollessa jatkuvia toisinkuin testitilanteessa, jossa aloitetaan jännitteettömästä tilanteesta.

Tallenteen pituus on määriteltävissä asetuksista määrittämällä kuinka monta jaksoa tallenteeseen tulee. Suurin sallittu asetus tallenteen kestolle on 500 jaksonaikaa eli 50 Hz verkossa 10 sekuntia ja 60 Hz verkossa reilut 8 sekuntia. Tässä työssä tallenteeseen tallentuvat häiriönaikaiset jännitteet, virrat ja kuviossa 9 näkyvien binäärikanavien tiedot, mutta tallenteeseen tallentuvat tiedot ovat vapaasti käyttäjän valittavissa.



KUVIO 9. Häiriötallentimen binäärisisääntulot.

4.2.6 Häiriötallenteiden lataus

Asematietokone noutaa häiriötiedot suojarieleestä kahdessa osassa. Häiriötallenne lähetetään COMTRADE -tiedostomuodossa asematietokoneeseen määritettyyn kansioon, jossa jokaiselle suojarieleelle löytyy oma kansionsa tallenteille. COMTRADE on häiriötallenteissa käytetty standardi tiedostomuoto. Datapisteiden tiedot tulevat asematietokoneelle MMS -protokollalla. MMS on lyhenne sanoista Manufacturing Message Specification ja se on protokolla, jolla suojarieleet raportoivat dataa. COMTRADE -kansioon tulevasta tallennetiedostoista datatiedoston voi avata ohjelmalla, jolla on mahdollista tutkia tallennettujen virtojen, jännitteiden ja muiden tallennettujen signaalien käyttäytymistä häiriötallenteen aikana.

4.2.7 Vikaetäisyyden laskeminen

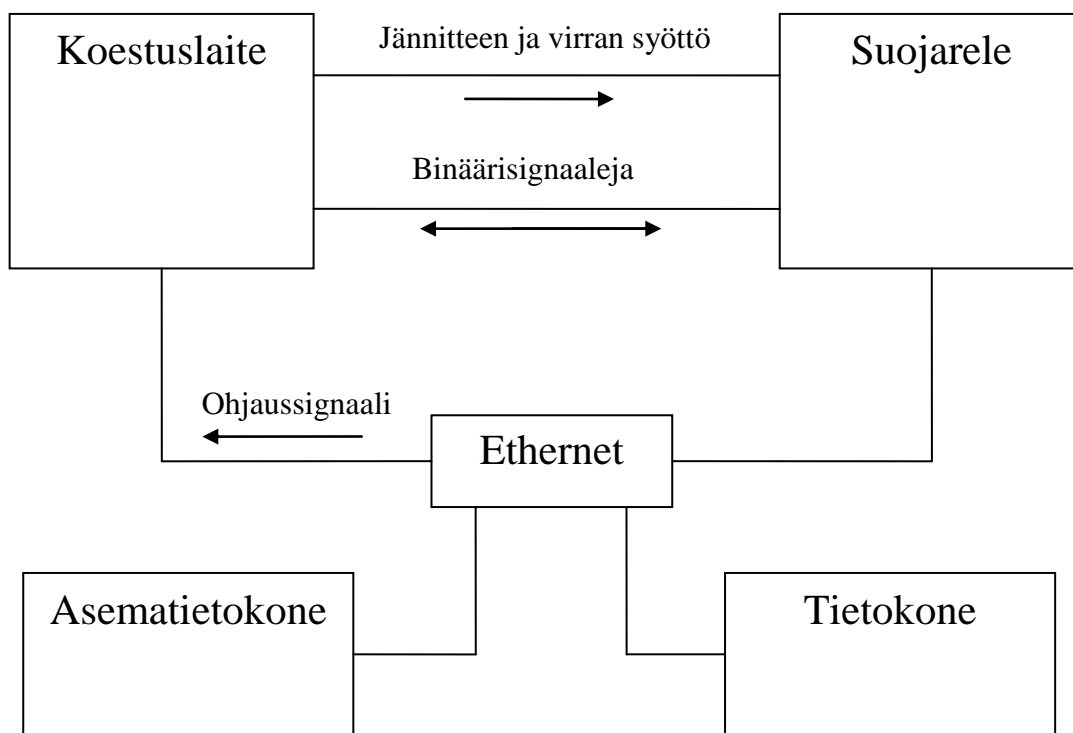
Asematietokone laskee vikaetäisyyden suojareleeltä saamansa vikatallenteen virtojen ja jännitteiden perusteella. Asematietokone laatii laskemistaan tuloksistaan raportit, jotka ovat luettavissa ottamalla yhteyttä asematietokoneeseen sen IP -osoitteen avulla selaimella. Raporteista on nähtävissä mm. laskettu vianetäisyys sähköasemalta, vian kesto ja tyyppi.

4.2.8 Katkaisijan kunnonvalvonta asematietokoneessa

Asematietokone seuraa katkaisijan kuntoa katkaisijan kunnonvalvonta funktiolla, jonka perusteella määritetään seuraava tarvittava huolto katkaisijalle. Katkaisijan kuntoon vaikuttavat monet tekijät kuten katkaisijan sulkemisen ja avautumisen aikaiset virrat, sulkemis-, avautumiskerrat ja avautumisajat. Katkaisijan kunnon seuraamiseksi asematietokone hakee tarvitsemiensa datapisteiden tiedot jatkuvasti suojareleeltä.

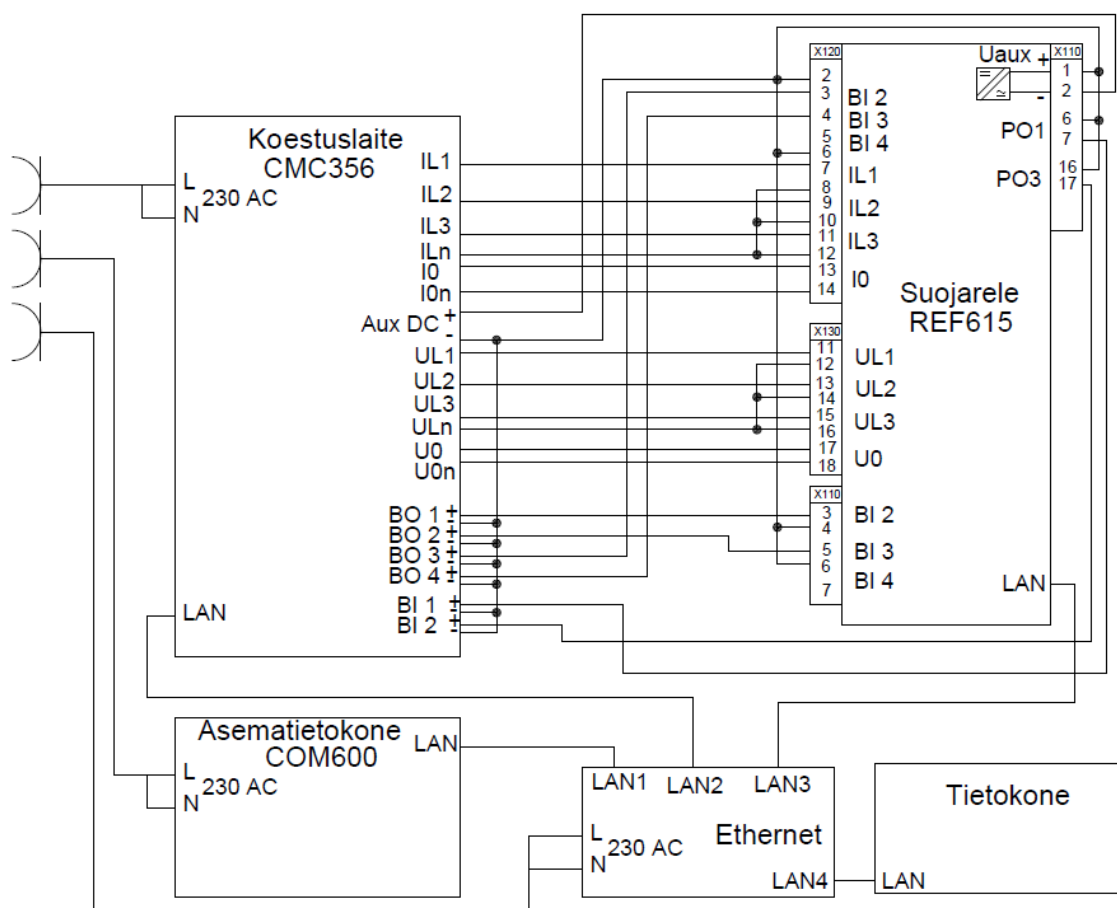
4.3 Kytkennät

Kuviossa 10 on nähtävissä yksinkertaistettu kuva laitteiden välisestä kytkennästä. Tietokoneella ohjataan koestuslaitetta lähiverkon kautta ja koestuslaite voidaan ohjata syöttämään suojareleelle erilaisia virtoja, jännitteitä ja binäärisignaaleja. Binäärisignaaleja voidaan lähettää myös koestuslaitteelle suojareleeltä. Kaikki laitteet ovat yhdistettyinä toisiinsa ethernet lähiverkon kautta ja tästä syystä tietokoneella on mahdollista nähdä jokaisen laitteen tiedot ja muokata näiden asetuksia tarpeen vaatiessa.



KUVIO 10. Yksinkertaistettu laitteiden välinen johdotus.

Kuvioissa 11 on nähtävissä tarkempi kytkentäkaavio laitteiden välisestä johdotuksesta. Tässä järjestelmässä suojarele saa käyttövirtansa ja mittaamansa virrat ja jännitteet koestuslaitteelta. Koestuslaite ja asematietokone saavat taas oman käyttövirtansa 230 V verkosta. Suojareleen ja asematietokoneen käyttövirran käyttämä jännitetaso riippuvat niiden tilauskoodeista ja tämä valitaankin sähköaseman apujännitetason mukaan. Virtojen ja jännitteiden syötössä käytettiin koestuslaitteelle tarkoitettua monijohtimista kaapelia, joka oli kytkettävissä laitteen etupaneeliin ja toisessa päässä se haarautui useaksi johtimeksi, jotka kytkettiin suojareleen takana oleviin liittimiin. Nollavirran, -jännitteen ja binäärisignaalien tuominen suojareleelle suoritettiin suojatuilla banaanijohtimilla. Laitteet on kytketty toisiinsa ethernet -lähiverkkojakajan kautta ja näihin laitteisiin on mahdollista päästä kiinni samaan lähiverkkoon kytketyllä tietokoneella.



KUVIO 11. Kytentäkaavio.

4.4 Testisignaali

4.4.1 Ensimmäiset testisignaalit

Suojareleen toimintaa kokeiltiin ensimmäiseksi simuloimalla 10 kV vaihejännitteitä ja 100 A vaihevirtoja. Käytännössä tässä tapauksessa koestuslaite toimii mittamuuntajien toisioina ja sen lähettämien jännitteiden ja virtojen suuruudet olivat 50 V ja 1 A. Tässä tapauksessa kokeiltiin myös viallisia signaaleja muuttamalla jännitteiden ja virtojen arvoja epäsymmetrisiksi, jolloin oli mahdollista kokeilla suojareleen toimintaa vikatilanteissa. Näitä testisignaaleja käytettiin viallisten kytkentöjen ja asetusten löytämiseen ja korjaamiseen.

4.4.2 Jälleenkytkentäsekvenssi

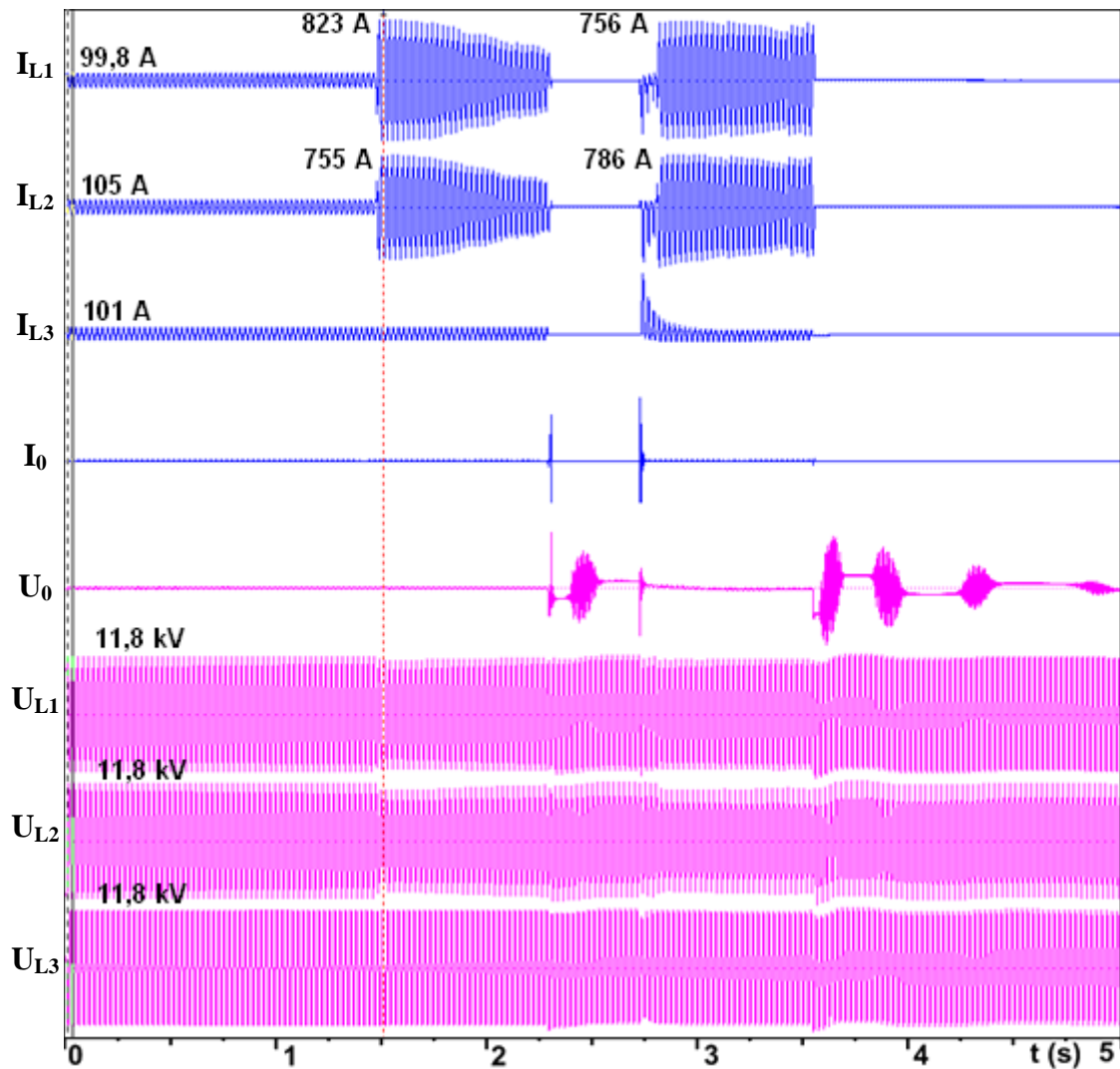
Seuraavissa testeissä käytettiin sekvenssitoimintoa, jolla oli mahdollista luoda vaihtelevia staattisia virtojen ja jännitteiden tiloja ja sitä käytettiin automaattisen pois- ja jälleenkytkentöjen toimivuuden tarkistamiseen. Tämä suoritettiin signaalilla, joka aloitti normaalitilasta siirtyen sitten vikatilaan. Vikatila kestää niin kauan kunnes katkaisija avautuu, suojareleen annettua sille käskyn.

Automaattisen poiskytkennän toimiessa suojarele lähettää binäärikanavaa pitkin viestin koestuslaitteelle, joka reagoi tähän viestiin siirtymällä seuraavaan ohjelman määräämään tilaan. Tässä tilassa jännitteet olisivat muuttuneet normaaliksi virtojen ollessa nollassa ja koestuslaite lähettäisi suojareleelle binäärisignaali viestin katkaisijan aukeamisesta.

Automaattisen jälleenkytkennän toimiessa suojarele lähettää binäärisignaali käskyn sulkea katkaisija, jolloin koestuslaite siirtyy viimeiseen tilaan, jossa virrat ja jännitteet ovat palanneet normaaliksi. Tässä tilassa koestuslaite lähettää jälleen binäärisignaali tiedon, että katkaisija on kiinni.

4.4.3 Häiriötallenteen simulointi

Seuraavana testisignaalina toimi oikeasta viasta saatu tallenne, jota voidaan simuloida koestuslaiteella. Kuviosta 12 on nähtävissä alkuperäinen tallenne ja sen lukemat eri tiloista on kirjattu liitteen 3 taulukkoon 1. Kuviosta 12 on hyvin nähtävissä miten virrat ja jännitteet muuttuvat vian ilmestyessä. Vikatilanteessa virrat I_{L1} ja I_{L2} kasvavat noin kahdeksankertaisiksi vikatilanteessa, mutta vika ei vaikuta virtaan I_{L3} . Hetken kuluttua vian ilmestymisestä katkaisija avataan ja PJK toimii hetkeä myöhemmin. Vika ei ole kuitenkaan kadonnut mihinkään, joten katkaisija avataan vielä kerran, minkä jälkeen AJK alkaa toimia. AJK:n toimintaa ei ole kuitenkaan havaittavissa tässä tallenteessa tallenteen lyhyiden vuoksi. Nollavirrassa ja -jännitteessä on havaittavissa häiriöitä, jotka johtuvat katkaisijan avautumisesta ja sulkeutumisesta. Häiriöitä on myös havaittavissa vaihevirroissa katkaisijan sulkeutumisen jälkeen.



KUVIO 12. Simuloinnissa käytetty häiriötallenne aidosta viasta 5 sekunnin ajalta.

4.4.4 Häiriötallenteeseen perustuva sekvenssi

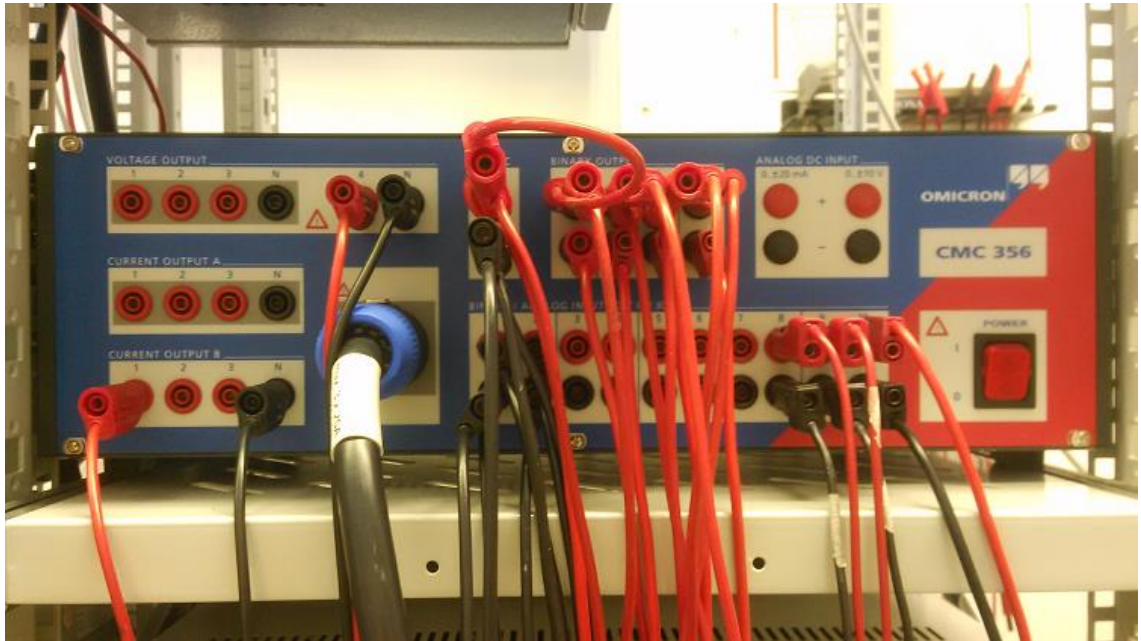
Tämä laitteen testaamiseen käytetty sekvenssi oli kuviossa 12 esitetyn häiriötallenteen mukaan tehty sekvenssi vaihtuvilla staattisilla tiloilla. Kuvion 10 häiriötallenteesta poiketen, tähän signaalin lisättiin paluu normaaliin tilaan toisen vian jälkeen asettamalla AJK toimimaan PJK:n jälkeen, mikä ei mahtunut aiempaan viiden sekunnin mittaiseen häiriötallenteeseen. AJK:n toiminnan aika asetettiin lähes yhtä nopeaksi kuin PJK:n toiminta aika.

Tämä signaali on jaettu seitsemään eri vaiheeseen, jotka kuvaavat edellisen signaalin vaihtelevia tiloja. Näiden tilojen virtojen ja jännitteiden suuruudet on valittu edellisen aiemmin käytetyn aidon häiriötallenteen tilojen keskikohdista, jotta sekvenssin tiloissa saataisiin käytettyä suunnilleen häiriötallenteen tilojen keskiarvoja, kohtuullisen samankaltaisen tuloksen saamiseksi. Simuloinnissa käytetyt arvot ovat löydettävissä liitteen 3 taulukosta 2.

Ensimmäisessä tilassa kuvataan normaalitilaa, toisessa kuvataan ensimmäistä vikatilaa, kolmannessa tilaa automaattisen poiskytkennän avattua erottimen, neljännessä automaattisen jälleenkytkennän jälkeistä vääristynyttä tilaa, viidennessä seuraavaa vikatilaa ja kuudennessa jälleen automaattisen poiskytkennän toimimisen jälkeistä tilaa. Alkuperäisestä häiriötallenteesta poiketen tässä signaalissa on myös seitsemäs tila, jossa virrat ja jännitteet palaavat alkuperäiseen normaalitilaan. Tilojen kestot on määritetty samantapuisiksi kuin kuvion 12 häiriötallenteessa, mutta AJK on säädetty toimimaan yhtä nopeasti kuin PJK, jotta paluu normaalitilaan olisi nähtävissä viiden sekunnin mittaisessa häiriötallenteessa.

5 TESTAUS

ABB:n Tampereen toimitilojen sähkölaboratoriossa laitteet oli kytketty räkkiin ja sen läheisyyteen testaamista varten, kuten on nähtävissä kuvista 1 ja 2. Suuri osa kuvan 1 johtimista on kytketty suojareleen takaliittimiin ja kaikki laitteet on yhdistetty toisiinsa kuvan 2 ethernet jakajan avulla.



KUVA 1. Koestuslaite.

Testaaminen suoritettiin ohjaamalla tietokoneella koestuslaitetta lähettämään haluttua signaalia suojareleelle, jolta asematietokone hakee mittaustiedot suojareleen lähettäessä tälle tiedot MMS -signaaleina. Saamiensa mittaustietojen pohjalta asematietokone tekee analyysin vian etäisyydestä ja katkaisijan kunnosta.



KUVA 2. Vasemmalla suojarele, oikealla asematietokone ja ethernet jakaja suojareleen päällä.

5.1 Häiriötallenteen simulointi

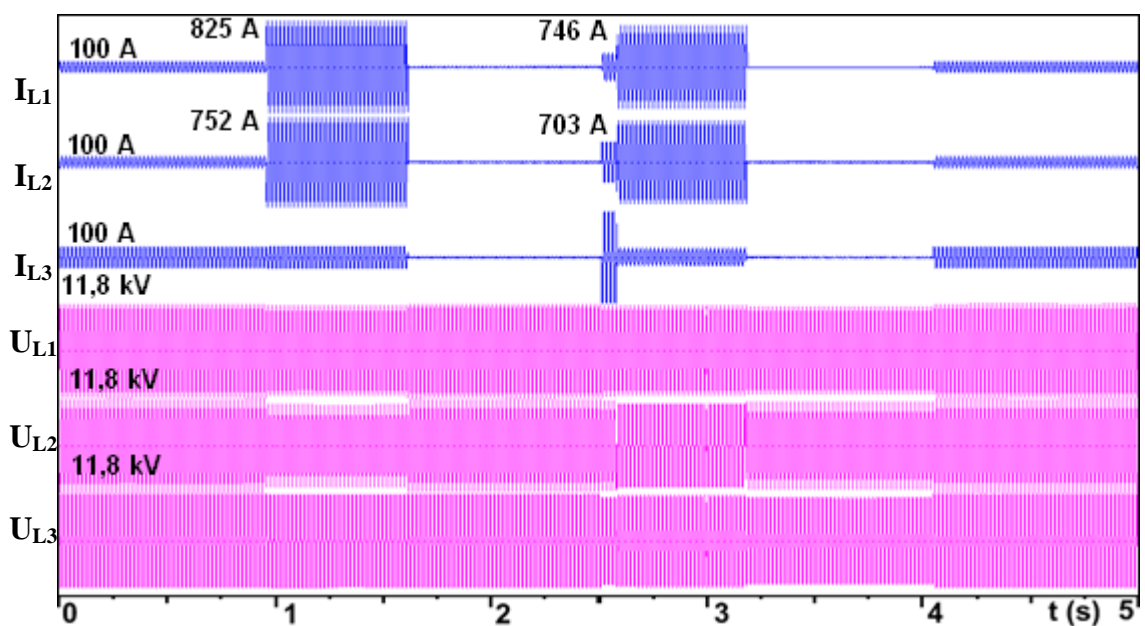
Koestuslaitteella simuloitiin aidosta aiemmin sattuneesta verkkoviasta saatu häiriötallenne. Verrattaessa tätä tallennetta simuloinnissa asematietokoneeseen tallentuneeseen tallenteeseen, oli nähtävissä vain pieniä eroja signaalissa, mutta signaali näytti lähes samalta kuin kuvion 12 alkuperäinen tallenne. Saadusta tallenteesta asematietokoneen laskema vikaetäisyys oli tarkkuudeltaan tyydyttävän. Erot todelliseen vikaetäisyyteen ja tallenteiden välillä johtuivat pienistä häviöistä johdoissa ja laitteiston sisällä ja mahdollisista ulkopuolisista häiriöistä. Laskettu vikaetäisyys ja todellinen vikaetäisyys ovat nähtävissä taulukossa 2.

5.2 Häiriötallenteeseen perustuva sekvenssi

Nopeasti katsottuna tämä testisignaali näyttää varsin erilaiselta, mutta varsinaisesti sen amplitudit ja taajuudet ovat samat ja vain transientit ja harmoniset eli signaalin vääristymät puuttuvat. Tämä johtuu siitä, että sen tarkka toistaminen sekvenssillä ei ollut tarkoituksen mukaista työn kannalta, vaan ideaalinen signaali tapauksesta oli riittävä, eikä työssä käytetty katkaisijaa suurien virtojen kulun katkaisimeksi. Huomattavista eroista

signaalin muodossa riippumatta, lopulliset mittaustulokset olivat tarpeeksi lähellä alkuperäistä ja asematietokone sai laskettu vikaetäisyyden oletetun kaltaiseksi. Laskettu vikaetäisyys ja todellinen vikaetäisyys ovat nähtävissä taulukossa 2.

Kuviosta 13 on nähtävissä sekvenssisignaalin häiriötallenne viiden sekunnin ajalta. Virtojen ja jännitteiden tilat jokaisessa tilassa on nähtävissä liitteen 3 taulukosta 2. Taulukkoa tulkittaessa on otettava huomioon, että koestuslaitteella simuloidaan mittamuuntajan toisioin arvoja, joten simuloidun verkon arvot ovat tosiasiasa paljon suurempia. Jotta kyseisen taulukon lukemista saataisiin mittamuuntajan ensiön arvot, on taulukon virroille käytettävä muuntosuhdetta 100 ja jännitteille muuntosuhdetta 200.

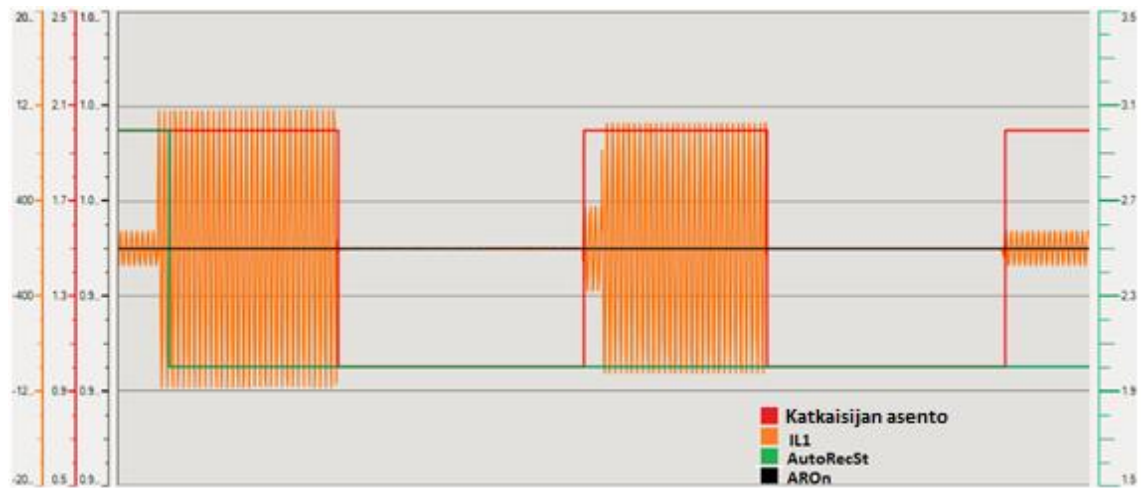


KUVIO 13. Osa sekvenssisignaalista.

Kuviosta 14 on nähtävissä kuinka AutoRecSt eli automaattinen jälleenkytkentä kytketty päälle vian alettua vaihtaen tilaa kolmesta kahteen ja jatkaa toimintaansa vielä vian korjaantumisen jälkeenkin. Punaisesta viivasta katkaisijan asento on mahdollista nähdä kuinka katkaisijan tila vaihtuu tilasta kaksi tilaan yksi hetken päästä vian alkamisesta. Tilassa yksi katkaisija on auki ja tilassa kaksi se on kiinni. Hetkeä myöhemmin PJK sulkee katkaisijan ja katkaisijan auettua uudestaan AJK sulkee sen uudelleen. Oranssi viiva esittää virran I_{L1} tilaa, AutoRecSt tarkoittaa automaattisen jälleenkytkentäsekvenssin aloitusta tilan vaihtuessa kahteen ja AROn tarkoittaa, että automaattinen jälleenkytkentä on käytössä, kun sen arvo on yksi.

TAULUKKO 2. Asematietokoneen vikaetäisyyden laskentatulokset.

Testi	Etäisyydet (km)
Todellinen etäisyys	23,1
Häiriötallenne simulointi	25,0
Sekvenssin simulointi	20,1



KUVIO 14. Automaattisen jälleenkytkennän toiminta.

6 POHDINTA JA TULOKSET

Työn tavoitteena oli testiympäristön suunnittelu, toteutus, testausympäristön verifiointi, dokumentointi, laitteiston toimivuuden testaus ja toteuttaa testausjärjestelmä, jolla voidaan toistaa testejä. Lopputuloksena voidaan todeta, että järjestelmä saatiin rakennettua, konfiguroitua ja testattua onnistuneesti. Dokumentaatio onnistui hyvin päiväkirjaa ylläpitämällä, jonka perusteella oli helposti laadittavissa vaadittu englanninkielinen dokumentaatio työstä. Kun mittaukset oli saatu toimimaan, asematietokoneella oli mahdollista laskea vikaetäisyydet ja nämä tulokset olivat toistettavissa. Käytettäessä testeissä aidosta viasta saadun häiriötallenteen simuloimista ja saman häiriötallenteen pohjalta luotua sekvenssisignaalia vikaetäisyydeksi saatiin tyydyttävät tulokset, jotka ovat nähtävissä luvun 5.2 taulukossa 2, ja testit olivat toistettavissa. Koska tarkoituksena verifioida testausympäristö, jolla voidaan tehdä lisää toistettavissa olevia testejä, tätä työtä varten ei ollut tarvetta suorittaa lisää testejä eri testiarvoilla.

Työtä varten oli nähtävä vaivaa ja käytettävä aikaa, jotta pystyi käyttämään työssä tarvittavia ohjelmistoja ja laitteita, mutta se on myös mielenkiintoinen ja sen avulla sai paljon lisätietoa ja ymmärrystä sähköasemien automaation toiminnasta. Järjestelmän toimeen saattaminen on työlästä, koska asematietokoneen tämänhetkinen versio on kehitysversio. Asetuksissa on asiakasversiota enemmän tehtävää, ennen kuin järjestelmä saadaan toimimaan halutulla tavalla.

LÄHTEET

ABB Oy. ABB Medium Voltage Products Offline Order Number Tool v. 15.46a, 2.2.2015. <https://www.abb.com/>

ABB Oy. Feeder Protection and Control REF615 – Application Manual 5.0. 4.10.2014. [http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/b4256e0e0012ee5ac1257cdf00278fe2/\\$file/REF615_appl_756378_ENp.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/b4256e0e0012ee5ac1257cdf00278fe2/$file/REF615_appl_756378_ENp.pdf)

ABB Oy. Grid Automation Controller COM600 4.0 – User's Manual. 31.5.2012. [http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/0c7613dc3fda76e8c1257a240028014f/\\$file/COM600_4.0_usg_756125_ENj.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/0c7613dc3fda76e8c1257a240028014f/$file/COM600_4.0_usg_756125_ENj.pdf)

Harrison J.A. The Essence of Electric Power System, 1996.

Lakervi E. & Partanen J. Sähköjaketekniikka, 2009.

Omicron. CMC 356 Technical Data. Luettu 13.4.2015
https://www.omicron.at/fileadmin/user_upload/pdf/literature/CMC-356-Technical-Data-ENU.pdf

Valtari J. Centralized Architecture of the Electricity Distribution, Substation Automation – Benefits and Possibilities, 2013.

LIITTEET

Liite 1. REF615 -suojareleen tilauskoodi

TAULUKKO 1. REF615 -suojareleen tilauskoodi. (ABB Oy 2015)

H	615 series IED (including case)
B	IEC
F	Feeder protection and control
N	Directional and non-directional O/C and E/F, voltage and frequency based protection and measurements, syncro-check and circuit breaker condition monitoring (optional power quality and fault locator)
AE	Std conf. N: 4I (I_0 1/5 A) + 5U
AG	16 Binary inputs + 10 binary outputs
NG	Ethernet 100 Base TX (3xRJ45) with HSR/PRP and IEC61850-9-2LE
A	IEC 61850
1	English.
B	Large LCD with single line diagram
M	Fault locator, power quality and reclosing.
C	Wattmetric based E/F + directional E/F
1	Nominal: 48-250 V, DC: 100-240 V AC 50/60 Hz.
XG	Product version 5.0

Liite 2. COM600 -asematietokoneen tilauskoodi

TAULUKKO 1. COM600 -asematietokoneen tilauskoodi. (ABB Oy 2015)

A	Station Analysis and Condition Monitoring
H	110 – 220 V DC, 100 – 240 V AC
R	Ethernet card (RJ-45)
E	Fault Location + Circuit breaker condition monitoring
1	One master protocol (additional)
1	One slave protocol.
T	Data historian
P	IEC 61850 proxy server and GOOSE send enabled
A	Only with ABB IEDs/relays.
N	None
N	None
F	Version 4.2

Liite 3. Häiriötallenteen ja sekvenssi signaalin tilojen virrat ja jännitteet

1(2)

Taulukko1. Häiriötallenteen tilojen virrat ja jännitteet.

Tila	Tila 1		Tila 2 - Alku		Tila 2 –Loppu		Tila 3	
V _{L1}	11,81 kV	0,00 °	11,29 kV	0,00 °	11,78 kV	0,00 °	11,86 kV	0,00 °
V _{L2}	11,80 kV	-120,09 °	10,46 kV	-114,51 °	11,28 kV	-118,59 °	11,81 kV	-120,06 °
V _{L3}	11,79 kV	120,48 °	11,78 kV	126,52 °	11,78 kV	123,31 °	11,83 kV	120,22 °
I _{L1}	99,83 A	1,83 °	822,92 A	-4,81 °	398,93 A	3,98 °	3,13 A	60,80 °
I _{L2}	104,97 A	-119,38 °	755,47 A	-178,79 °	363,37 A	-161,59 °	1,56 A	-119,20 °
I _{L3}	100,75 A	118,77 °	105,84 A	127,28 °	102,54 A	121,51 °	1,56 A	60,80 °

Tila	Tila 4 -Alku		Tila 4 - Loppu		Tila 5 –Alku		Tila 5 -Loppu	
V _{L1}	11,27 kV	0,00 °	11,42 kV	0,00 °	11,21 kV	0,00 °	11,31 kV	0,00 °
V _{L2}	11,23 kV	-123,13 °	11,46 kV	,120,553	10,31 kV	115,22 °	10,43 kV	-114,79 °
V _{L3}	10,74 kV	119,07 °	11,35 kV	119,91 °	11,54 kV	126,62 °	11,85 kV	127,21 °
I _{L1}	454,22 A	-94,72 °	252,92 A	-53,02 °	756,22 A	12,46 °	759,24 A	-7,41 °
I _{L2}	503,29 A	-168,28 °	309,90 A	-170,23 °	782,83 A	177,90 °	715,98 A	177,73 °
I _{L3}	770,63 A	44,21 °	302,58 A	48,01 °	164,47 A	71,09 °	83,12 A	119,91 °

Tila	Tila 6	
V _{L1}	11,88 kV	0,00 °
V _{L2}	11,83 kV	-120,11 °
V _{L3}	11,85 kV	120,15 °
I _{L1}	3,69 A	136,23 °
I _{L2}	17,05 A	97,20 °
I _{L3}	23,54 A	21,56 °

Taulukko 2. Sekvenssinsignaalin virrat ja jännitteet eri tiloissa.

Tila	State 1			State 2			State 3		
V _{L1}	59,00 V	0,00 °	50 Hz	56,25 V	0,00 °	50 Hz	60,00 V	0,00 °	50 Hz
V _{L2}	59,00 V	-120,00 °	50 Hz	51,70 V	-114,55 °	50 Hz	58,00 V	-120,00 °	50 Hz
V _{L3}	59,00 V	120,00 °	50 Hz	58,93 V	115,26 °	50 Hz	59,00 V	120,00 °	50 Hz
I _{L1}	1,000 A	0,00 °	50 Hz	8,250 A	-8,90 °	50 Hz	31,25 mA	-3,13 °	50 Hz
I _{L2}	1,000 A	-120,00 °	50 Hz	7,520 A	176,70 °	50 Hz	15,60 mA	1,56 °	50 Hz
I _{L3}	1,000 A	120,00 °	50 Hz	1,070 A	128,78 °	50 Hz	15,60 mA	-1,56 °	50 Hz

Tila	State 4			State 5			State 6		
V _{L1}	57,50 V	0,00 °	50 Hz	56,93 V	0,00 °	50 Hz	55,00 V	0,00 °	50 Hz
V _{L2}	57,13 V	-120,00 °	50 Hz	52,68 V	114,70 °	50 Hz	55,00 V	-118,30 °	50 Hz
V _{L3}	55,73 V	120,00 °	50 Hz	58,88 V	127,00 °	50 Hz	55,00 V	122,48 °	50 Hz
I _{L1}	2,500 A	21,88 °	50 Hz	7,460 A	-11,68 °	50 Hz	10,00 mA	179,20 °	50 Hz
I _{L2}	3,400 A	107,80 °	50 Hz	7,030 A	177,00 °	50 Hz	10,00 mA	-124,20 °	50 Hz
I _{L3}	4,500 A	-73,40 °	50 Hz	0,888 A	79,43 °	50 Hz	10,00 mA	18,60 °	50 Hz

Tila	State 7		
V _{L1}	59,00 V	0,00 °	50 Hz
V _{L2}	59,00 V	-120,00 °	50 Hz
V _{L3}	59,00 V	120,00 °	50 Hz
I _{L1}	1,000 A	0,00 °	50 Hz
I _{L2}	1,000 A	-120,00 °	50 Hz
I _{L3}	1,000 A	120,00 °	50 Hz